

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ИЗВЕСТКОВАННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Н.А. Кирпичников, д.с.-х.н., С.П. Бижан, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова», e-mail: kziek@yandex.ru

Работа выполнена по государственному заданию на 2020 год № 0572-2021-0011

В длительном полевом опыте на дерново-подзолистой почве с высоким содержанием подвижного алюминия (около 130 мг/кг), обусловленным систематическим применением азотных и калийных удобрений, эффективность фосфорных удобрений повышается при известковании, особенно высокой дозой (2,5 г.к. в сумме за 11 ротаций). Применение фосфорных удобрений на неизвесткованной почве увеличивает урожайность озимой пшеницы на 50%, ярового ячменя – на 43%, а при известковании в 2,5 и 1,9 раза при уровне на фоне азотно-калийных удобрений 24,7 и 25,4 ц/га соответственно. Внесение цинковых удобрений приводит к дальнейшему повышению урожайности на 10-12%. Максимальная урожайность озимой пшеницы (68,6 ц/га) и ярового ячменя (53,0 ц/га) формируется при сочетании фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве, окупаемость NPK прибавкой урожая при этом достигает в посевах озимой пшеницы 15,2 кг/кг, ярового ячменя – 12,1 кг/кг. Известкование и применение цинковых удобрений повышают использование фосфора растениями озимой пшеницы в 4 раза, ярового ячменя в 2,5 раза.

Установлена прямая тесная связь уровня урожайности с показателем pH_{KCl} ($r=0,89-0,90$), с содержанием подвижного фосфора ($r=0,91-0,93$) и обратная зависимость с гидролитической кислотностью ($r=-0,76$).

Ключевые слова: почва, удобрение, известкование, урожайность, озимая пшеница, яровой ячмень.

Для цитирования: Кирпичников Н.А., Бижан С.П. Эффективность сочетания фосфорных удобрений в связи с известкованием дерново-подзолистой почвы при возделывании зерновых культур в севообороте // Плодородие. – 2021. - №2. – С.48-51. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.13

Повышение производства зерна в нашей стране во многом зависит от плодородия почв. В большей мере это относится к зоне Центрального Нечерноземья, где слабокультуренные почвы с повышенной кислотностью и слабой обеспеченностью подвижными фосфатами составляют около 70%, что является одной из причин низкой (около 20-25 ц/га) урожайности зерновых культур [1, 2].

Для повышения плодородия слабокультуренных дерново-подзолистых почв и производства зерна необходимы прежде всего периодическое известкование и рациональное, с учетом потребности растений, внесение удобрений [3, 5].

Это особенно важно в современных интенсивных технологиях возделывания основных для зоны зерновых культур таких как озимая пшеница и яровой ячмень. Для формирования высокой урожайности зерновых культур интенсивных сортов растения в большой мере нуждаются не только в макроэлементах, но и в микроэлементах, содержание которых в почвах Центрального Нечерноземья в основном низкое, особенно подвижного цинка [6].

При комплексном применении средств химизации, как показывают некоторые исследования, возможно получение достаточно высокой урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя [7]. Однако исследований по изучению эффективности сочетания фосфорных и цинковых удобрений при различных уровнях известкования недостаточно, особенно в интенсивных технологиях возделывания озимой пшеницы и ярового ячменя на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах в условиях длительного полевого опыта.

Цель исследований – изучить в длительном полевом опыте эффективность сочетания фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы при возделывании интенсивных сортов озимой пшеницы.

Методика. Исследования проводили в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИА (Московская область, Шенбанцевский участок). Исходная почва полевого опыта слабокультуренная: pH_{KCl} 3,9-4,2, гумус 1,5%, сумма оснований 7,5-8,2, гидролитическая кислотность 4,9-5,2, обменная кислотность 0,55-0,57 ммоль-экв/100 г, степень насыщенности основаниями 57-63%. Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве 30-70 и 112-115 мг/кг соответственно.

Изучение проводили в севообороте со следующим чередованием культур: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 39, яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта НУР с подсевом клевера (*Trifolium pratense* L.), клевер двух лет пользования (в последние годы – 11- и 12-я ротации – один год пользования). Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования и применения цинка изучали на фонах извести 1,5 г.к. (по 0,5 г.к. в первых трех ротациях – в сумме 11,5 т/га) и 2,5 г.к. (по 1,0 г.к. в первой и третьей и 0,5 г.к. в восьмой ротациях – в сумме 17 т/га), а также на фоне без извести (НК).

Минеральные удобрения вносили ежегодно в виде аммиачной селитры (N – 34%), двойного суперфосфата – в 12-й ротации в форме аммофоса (N – 12%, P – 52%), хлористого калия (K_2O – 60%). Под озимую пшеницу удобрения вносили в дозах $N_{120}P_{90}K_{90}$; N_{30} – осенью под

культивацию, N₃₀ – весной в почву в начале вегетации растений, N₆₀ – в начале трубкования; под яровой ячмень N₉₀P₆₀K₉₀.

Цинковые удобрения применяли в форме сульфата цинка в дозе 5,0 кг/га перед посевом озимой пшеницы и ярового ячменя под культивацию. Для этого использовали запасные деланки площадью 100 м², которые разделяли пополам. Повторность опыта 3-кратная. Анализы почвы и растений проводили согласно ГОСТам: содержание общего азота в зерне и соломе – по Кьельдалю ГОСТ 13996.4-93, фосфора ГОСТ 26657-97, калия ГОСТ 30504-97; содержание белка в зерне определяли по ГОСТ 10846-91; натурную массу зерна по ГОСТ 10840-64; массу 1000 зерен по ГОСТ 10842-89; сумму поглощенных оснований (по Каппену) по ГОСТ Р 50682-94; обменную кислотность по ГОСТ Р 58594-2019; рН_{KCl} по ГОСТ 26423-85; гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213-91; подвижный цинк по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО ГОСТ Р 50687-94; подвижный фосфор и калий (по Кирсанову) по ГОСТ 54650-2011; подвижный алюминий по ГОСТ 26485-86. В качестве общего фона вносили гербициды, фунгициды и ретарданты нового поколения. Агротехника принята в Московской области. Уборку урожая осуществляли комбайном «Сампо» поделочно с 28 м².

Математическую обработку данных проводили дисперсионным методом по Б.А. Доспехову.

В результате периодического известкования и систематического внесения минеральных удобрений за период проведения полевого опыта (1966-2015 г.) агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы изменились (табл. 1)

1. Влияние длительного применения удобрений и известкования на агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (данные 2015 г., 11-я ротация)

Вариант	рН _{KCl}	Нг, ммоль экв/100 г	V, %	Содержание подвижных форм, мг/кг			Гумус, %
				P ₂ O ₅	K ₂ O	Al	
Без удобрений	4,0	5,32	53	30,1	105,4	45,6	1,25
NK	3,8	6,77	40	28,0	171,0	130,1	1,26
NK + P	4,0	6,42	43	85,2	142,0	102,5	1,39
NK + из-весть, 1,5 г.к.	4,7	5,00	60	27,5	135,0	34,6	1,27
NK + из-весть, 1,5 г.к. + P	4,8	4,10	67	87,5	128,0	32,0	1,30
NK + из-весть, 2,5 г.к.	5,3	3,60	70	40,5	125,0	14,2	1,26
NK + из-весть, 2,5 г.к. + P	5,5	3,50	80	93,0	119,2	10,0	1,39
HCP ₀₅	0,3	1,10	6,2	13,1	14,6	19,0	0,50

При систематическом внесении физиологически кислых азотных и калийных удобрений (фон NK) достоверно снижалась степень насыщенности основаниями, несколько уменьшалась реакция почвенной среды. Особенно повысилось (почти в 3 раза) по сравнению с вариантом без удобрений содержание подвижного алюминия в почве.

Периодическое известкование, особенно высокой дозой (2,5 г.к.), значительно улучшало физико-

химические свойства почвы. Так, степень насыщенности основаниями в варианте с внесением извести по 2,5 г.к. достигла почти 80%, почва из группы сильнокислых перешла в группу слабокислых. Существенное влияние оказало известкование на содержание подвижного алюминия в почве, даже небольшая доза извести (по 1,5 г.к.) снизила этот показатель в 11-й ротации почти в 4 раза по сравнению с фоном NK. Содержание подвижного фосфора в почве значительно повысилось от применения фосфорных удобрений. При наличии в севообороте клевера содержание гумуса по вариантам опыта существенно не изменилось. Содержание подвижного цинка в почве низкое (0,6-0,9 мг/кг).

Метеоусловия различались по годам. Во все годы за осень выпало достаточное количество осадков (больше среднемноголетней нормы в 1,2-1,5 раза), что благоприятно сказалось на росте и развитии растений озимой пшеницы перед уходом в зиму. В весенний период 2018 г. сложились относительно благоприятные для роста озимой пшеницы и ячменя условия как по температурному режиму, так и по обеспеченности осадками, что положительно сказалось на урожайности зерновых культур. Неблагоприятные условия отмечены в 2019 и 2020 г., за май-июль выпало избыточное количество осадков – в 2-3 раза выше среднемноголетнего показателя. Так в июне 2019 г. выпало осадков 194 мм, в июле – 223,8 мм при среднемесячной норме 63,0 и 78,0 мм соответственно. За весенне-летний период 2019 г. резко изменялась температура воздуха, в конце мая и начале июня она доходила до 30-33⁰C. Весной и летом 2020 г. также выпало избыточное количество осадков, в некоторых декадах апреля по июль их количество превышало среднемноголетнюю норму в 2,5-3,5 раза.

Результаты и их обсуждение. Улучшение агрохимических свойств положительно сказалось на урожайности озимой пшеницы сорта Московская 39, которая изменялась и по годам в зависимости от метеоусловий и применяемых удобрений (табл. 2).

2. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от применения фосфорных удобрений и цинка при различной кислотности дерново-подзолистой почвы, ц/га

Вариант	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Сред нее за 2011- 2020 г.	Прибавка, ц/га		Оку- пае- мость NPK при- бав- кой зерна, кг/кг
					от P ₂ O ₅	от P ₂ O ₅ + Zn	
рН _{KCl} 4,0 (без извести)							
Без удобрений	25,6	20,3	22,8	22,9	-	-	-
N ₁₂₀ K ₉₀	26,3	25,4	22,4	24,7	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	40,1	34,1	37,1	37,1	12,4	-	4,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	43,6	36,4	40,0	40,0	-	15,3	5,7
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)							
N ₁₂₀ K ₉₀	34,1	31,2	32,8	32,7	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	50,5	40,6	45,7	45,6	12,9	-	7,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	55,6	47,1	51,5	51,4	-	18,7	9,5
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)							
N ₁₂₀ K ₉₀	49,1	47,9	58,5	48,5	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	68,3	55,4	62,0	61,9	13,4	-	13,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	74,5	62,6	68,7	68,6	-	20,1	15,2
HCP ₀₅	3,2	2,6	3,9	-	-	-	-

В благоприятном 2018 г. получена наибольшая урожайность по сравнению с другими годами. Применение только азотных и калийных удобрений на известко-

ванной почве в 2018 и 2020 г. не оказало положительного влияния на урожайность озимой пшеницы. Это связано с увеличением содержания токсичного для растений подвижного алюминия в почве с 45 до 131 мг/кг при систематическом применении физиологически кислых минеральных удобрений в форме аммиачной селитры и хлористого калия. Внесение фосфорных удобрений существенно повышало урожайность как на известкованной, так и на неизвесткованной почве, особенно в 2020 г. Так на неизвесткованной почве при pH_{KCl} 4,0 средняя урожайность озимой пшеницы в 2018 г. увеличилась на 50%, а в 2020 г. – на 65%, на известкованной почве, особенно большой дозой (по 2,5 г.к.) при pH_{KCl} 5,4 средняя прибавка урожая составила 27%. Снижение действия фосфорных удобрений на известкованной почве связано с улучшением обеспеченности растений фосфором за счет самой извести, особенно высокой дозы, которая увеличивала среднюю урожайность более чем в 2 раза по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений, а в условиях 2020 г. – в 2,6 раза.

Внесение цинковых удобрений обеспечивало дополнительное повышение урожайности озимой пшеницы, в большей степени это отмечалось на известкованной почве по 2,5 г.к. – прибавка зерна составила 6,7 ц/га. Максимальная средняя урожайность (68,6 ц/га) формировалась при внесении фосфорных с использованием цинковых удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к., что выше фона НК в 2,8 раза.

Окупаемость минеральных удобрений ($N_{120}P_{90}K_{90}$) зерном при известковании почвы по 2,5 г.к. повышалась в 2,8 раза по сравнению с их применением на неизвесткованной почве и достигала 13,0 кг/кг, а с применением цинковых микроудобрений – 15,2 кг/кг.

Установлена высокая прямая корреляция между урожайностью озимой пшеницы и значением pH_{KCl} почвы ($r=0,90$, $d=0,81$), а также с содержанием подвижных фосфатов в почве ($r=0,80$, $d=0,68$). Зависимость её от гидролитической кислотности обратная и достаточно тесная ($r= -0,76$, $d=0,58$).

Урожайность зерна озимой пшеницы зависела от структуры. В более благоприятном 2018 г. масса 1000 зерен и количество их в колосе были выше, чем в другие годы. Так на контроле масса 1000 зерен в первом случае составляла 44,4 г, во втором 41,0 г, число зерен в колосе, соответственно 19,0, и 16,2. Во все годы эти показатели достигали максимальных величин при внесении полного минерального удобрения с использованием цинка на известкованной почве, когда значение pH_{KCl} достигало 5,4 (известь по 2,5 г.к.). В среднем за 2018-2020 г. в этом варианте масса 1000 зерен составила 46,2 г, а число зерен в колосе – 27,9, что выше фона азотно-калийных удобрений на 10,0 и 55,0% соответственно.

Применение фосфорных удобрений и цинка на известкованной почве несколько повышало (с 0,43 до 0,49) хозяйственный коэффициент урожая, что свидетельствует о положительном влиянии их на формирование репродуктивной части урожая, в большей мере, чем в вегетативной.

Метеорологические условия особенно сказались на формировании урожайности ярового ячменя (табл. 3).

В благоприятном 2018 г. максимальная урожайность была на 24,9 ц/га, выше, чем в неблагоприятном 2020 г.

Эффективность удобрений по годам также различалась, в 2020 неблагоприятном году наблюдалась наибо-

лее высокая прибавка урожая от применения фосфорных удобрений – на неизвесткованной почве она достигала 70%, а средняя – 44%. На известкованной почве по 2,5 г.к. прибавки урожая от фосфора значительно снижались и составили в среднем – 11%. Высокое действие на урожайность оказало также известкование, особенно большой дозой, когда она повысилась в 2020 г. в 2,2 раза по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений. Высокая эффективность известкования обусловлена, вероятно, значительным ухудшением кислотных свойств почвы, особенно повышением содержания подвижного алюминия в почве фона НК. Установлена высокая корреляция урожайности ярового ячменя с реакцией почвенной среды ($r = 0,89$) и содержанием подвижного фосфора ($r = 0,80$) и обратная с гидролитической кислотностью ($r = -0,76$).

3. Урожайность ярового ячменя в зависимости от применения фосфорных удобрений и цинка при различной кислотности дерново-подзолистой почвы, ц/га

Вариант	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Сред- нее за 3 года	Прибавка, ц/га		Оку- пае- мость NPK при- бав- кой зерна, кг/кг
					от P ₂ O ₅	от P ₂ O ₅ + Zn	
рН _{KCl} 4,0 (без извести)							
Без удобрений	33,6	23,9	14,5	24,0	-	-	-
N ₁₂₀ K ₉₀	37,0	23,2	16,0	25,4	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	53,9	28,4	27,2	36,5	11,1	-	5,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	56,7	31,5	29,7	39,3	-	13,9	6,4
рН _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)							
N ₁₂₀ K ₉₀	43,6	32,5	26,5	34,2	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	59,3	39,8	34,7	44,6	10,4	-	8,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	63,6	45,1	37,7	48,8	-	0,46	10,4
рН _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.)							
N ₁₂₀ K ₉₀	55,8	38,6	35,2	43,2	-	-	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	62,5	43,2	38,3	48,0	4,8	-	10,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	67,5	48,9	42,6	53,0	-	9,8	12,1
HCP ₀₅	4,0	3,7	2,4	-	-	-	-

Известкование и применение цинковых микроудобрений значительно повышали окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая зерна. Так при известковании по 2,5 г.к. она превышала уровень окупаемости удобрений на неизвесткованной почве почти в 2 раза. Максимальная окупаемость удобрений прибавкой урожая достигалась при внесении цинковых микроудобрений на известкованной почве большой дозой.

Урожайность ярового ячменя находилась в прямой зависимости от массы 1000 зерен и числа зерен в колосе. Наибольшие их величины отмечались в благоприятном 2018 г., когда масса 1000 зерен достигала 55,8 г при уровне на контроле 48,2 г, а число зерен в колосе – 24,0 и 14,6 соответственно.

Применение фосфорных удобрений повышало массу 1000 зерен (в среднем) на неизвесткованной почве на 2,1 г, на известкованной по 2,5 г.к. – на 1,4 г, число зерен в колосе увеличивалось, соответственно, на 6,1 и 1,6. Значительное влияние на структуру урожая оказало известкование по 2,5 г.к.: масса 1000 зерен увеличилась на 4,9 г, число зерен в колосе – на 8,3. Применение фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве по 2,5 г.к. повышало по сравнению с фоном НК массу 1000 зерен на 16,4 %, а количество зерен в колосе в 1,8 раза.

Исследуемые удобрения положительно влияли на минеральное питание растений озимой пшеницы и ярового ячменя, которое зависело также от метеорологических условий года.

Вынос азота, фосфора и калия зависел в основном от уровня урожайности и в некоторой степени от содержания их в растениях. Так в 2018 благоприятном году при внесении фосфорных удобрений на известкованной почве содержание фосфора в зерне озимой пшеницы повышалось с 0,61 до 0,74%.

Удобрения оказали существенное влияние на вынос фосфора урожаем озимой пшеницы и ярового ячменя (табл. 4, 5).

4. Использование фосфора растениями озимой пшеницы (среднее за 2018-2019 г.)

Вариант	(средние за 2016-2017 гг.)		
	Внесено P ₂ O ₅	Вынос P ₂ O ₅	КИФ, %
	кг/га		
pH _{KCl} 4,0 (без извести)			
Без удобрений	-	18,1	-
N ₁₂₀ K ₉₀	-	20,2	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	90	32,4	13,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	90	37,2	18,8
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	-	30,1	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	90	44,7	25,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	90	49,9	33,0
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)			
N ₁₂₀ K ₉₀	-	48,1	-
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	90	64,9	49,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ + Zn	90	69,0	54,2

Примечание. КИФ – коэффициент использования фосфора, расчет от общего фона НК.

5. Использование фосфора растениями ячменя в зависимости от известкования и применения цинка (среднее за 2018-2019 г.)

Вариант	Внесено P ₂ O ₅		Вынос P ₂ O ₅	КИФ, %
	кг/га			
pH _{KCl} 4,0 (без извести)				
Без удобрений	-		29,1	-
N ₉₀ K ₉₀	-		28,4	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	60		44,5	26,3
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	60		47,6	31,5
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	-		42,7	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	60		52,7	39,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	60		61,6	50,8
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 г.к.)				
N ₉₀ K ₉₀	-		53,8	-
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	60		62,3	56,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + Zn	60		68,3	66,0

Максимальный вынос фосфора растениями озимой пшеницы и ярового ячменя отмечался в варианте N₉₀P₆₀K₉₀ + Zn на известкованной почве. Вынос фосфора в зависимости от применения фосфорных удобрений

с цинком повышался в большей мере, чем урожайность за счет некоторого повышения содержания фосфора в растениях. В расчете на 1 т зерна вынос от применяемых удобрений при возделывании озимой пшеницы увеличивался с 9,0 до 9,6 кг/кг, ярового ячменя – с 10,2 до 11,3 кг/кг.

Вносимые удобрения значительно повышали использование фосфора растениями – коэффициент использования фосфора (КИФ) был максимальным при внесении цинка на известкованной почве большой дозой при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя. Он был выше, чем в варианте без применения извести и цинка, соответственно, в 4 и 2,5 раза.

Заклучение. В длительном (54 года) полевом опыте на слабокультуренной дерново-подзолистой почве с высоким содержанием подвижного алюминия (130 мг/кг), обусловленным систематическим применением только азотно-калийных удобрений, формируется минимальная на уровне контроля урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя (24,7 и 25,4 ц/га соответственно). Внесение фосфорных удобрений на этом фоне повышает урожайность, соответственно, на 50 и 43%, а при известковании – в 2,5 и 1,9 раза. Внесение цинковых удобрений приводит к дальнейшему повышению урожайности на 10-12%. Максимальная средняя урожайность озимой пшеницы (68,6 ц/га) и ярового ячменя (53,0 ц/га) формируется при сочетании фосфорных и цинковых удобрений на известкованной почве, окупаемость прибавкой урожая при этом достигает в посевах озимой пшеницы 15,2 кг/кг, ярового ячменя – 12,1 кг/кг. Установлена прямая корреляция урожайности с pH_{KCl} и содержанием подвижного фосфора в почве (r=0,80-0,90) и обратная – с гидролитической кислотностью (r= - 0,76).

Литература

1. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2009. – 32 с.
2. Шафран С.А. Ассортимент минеральных удобрений и экономическая эффективность их применения. – М., 2020. – 229 с.
3. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М: Агропромиздат, 1989. – С. 42-205.
4. Адрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрения. – М: ВНИИА, 2004. – 296 с.
5. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. – Санкт – Петербург: ЛНИИСХ, 2005. – С. 90-118.
6. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. – М.: ЦИНАО, 2000. – 524 с.
7. Ваулин Г.И., Алиев А.М. Эффективность блоков химизации в полевом севообороте на дерново-подзолистой суглинистой почве. Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. Вып. 2 /Под ред. В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2012. – С. 68-88.

EFFICIENCY OF PHOSPHORIC FERTILIZERS COMBINATION IN CONNECTION WITH LIMESTONE APPLICATION ON SOD-PODZOLIC SOIL UNDER THE CULTIVATION OF GRAIN CROPS IN THE CROP ROTATION

N.A. Kirpichnikov, S.P. Bizhan

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia, e-mail: kzuek@yandex.ru

In a long-termed field experiment on sod-podzolic soil with a high content of mobile aluminum (about 130 mg/kg), due to the systematic use of nitrogen and potassium fertilizers, the effectiveness of phosphorus fertilizers increases with liming, especially with a high dose (2.5x hydrolytic acidity in total for 11 rotations). An application of phosphorus fertilizers on unlimed soil increases the yield of winter wheat by 50%, spring barley – by 43%, and with liming by 2.5 and 1.9 times at a level against the background of nitrogen-potassium fertilizers of 2.47 and 2.54 t/ha respectively. An application of zinc fertilizers leads to a further increase in yield by 10-12%. The maximum yield of winter wheat (6.86 t/ha) and spring barley (5.3 t/ha) is formed with a combination of phosphorus and zinc fertilizers on limed soil, NPK payback with an increase in yield reaches 15.2 kg/kg, spring barley – 12.1 kg/kg. Liming and the use of zinc fertilizers increase the use of phosphorus by winter wheat plants by 4 times, spring barley by 2.5 times.

Key words: soil, fertilization, liming, productivity, winter wheat, spring barley.